

농촌유역의 수질예측을 위한 BASINS의 적용 - HSPF모형을 중심으로 -

Application of BASINS for the water quality prediction
in rural watersheds - on HSPF model -

함 종 화* · 윤 춘 경(건국대)
Ham, Jong Hwa · Yoon, Chun Gyeong

Abstract

For the water quality management of stream and lake, it is important to estimate and control nonpoint source loading to meet the water quality standard. So, integrated watershed management is required. BASINS is a multipurpose environmental analysis system for use by regional, state, and local agencies in performing watershed and water quality based studies. BASINS was developed by the USEPA to facilitate examination of environmental information, to support analysis of environmental systems and to provide a framework for examining management alternatives. BASINS contains HSPF which is one of the watershed runoff model. By using HSPF, nonpoint source loading from upper stream watershed was estimated. As a result, the simulated runoff was in a good agreement with the observed data and indicated reasonable applicability for whole watershed.

I. 서론

지금까지의 하천 및 호소의 수질관리는 인간의 활동이나 가축의 사육 등에 의해 발생하는 오염물질을 환경기초시설에서 처리하여 배출시키는 처리장 중심의 정책 위주로 이루어져 왔다. 하지만, 여름의 짧은 기간에 집중되는 큰 강우의 발생시, 전 유역의 비점오염원으로부터 발생하여 하천으로 쏟아져 들어오는 엄청난 양의 오염물질 또한 간과 할 수 없다. 따라서 하천이나 호소의 성공적인 수질관리를 위해서는 이러한 잠재적인 오염원에 대한 정량화가 이루어져야 하며, 그에 따른 합리적인 유역관리가 필요하다^{1,3)}.

현재 미국에서는 하천의 생태계와 상수원 보호를 위해 WPA(Watershed Protection Approach)전략을 바탕으로 직접적인 하천관리보다는 유역관리에 중점을 두고 있으며, Clean Water Act(수질환경보전법)는 미국의 모든 주 별로 TMDL(Total Maximum Daily Loading) 계획을 수립하도록 하고 있다. TMDL은 수질기준을 만족시키기 위해 하천이 받아들일 수 있는 개별 오염물질 부하량의 최대치를 계산하여 삭감량을 산정한 후 유역별로 재분배하는 것으로, 점오염원과 비점오염원의 영향이 함께 고려된다^{5,6)}.

2001년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2001년 10월 12일)

국내에서는 한강수계를 중심으로 상수원 수질개선을 위해 2005년을 목표기간으로 오염총량관리(Total Load Control System, TLCS)계획이 수립되어 점차 전국의 지자체로 확대될 전망이다⁵⁾. 하지만, 아직까지는 오염총량산정방법이 명확하게 정립되어있지 않아 오염총량관리계획을 수립하는 곳마다 상이한 방법을 적용하여 큰 혼란이 생길 우려가 있다.

본 연구에서는 오염총량산정방법이 명확히 정립되어 있지 않은 현 상황에서, 현재 미국에서 TMDL의 산정에 이용 및 연구되어지고 있는 BASINS를 하나의 오염총량산정방법으로 제안하고자 하며, 그 적용성을 평가하기 위해 농촌유역에 적용하였다. 본 논문은 부하량산정의 첫 번째 단계인 유출량 산정까지의 결과를 정리하여 서술하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. BASINS(Better Assessment Science Integrating Point and Nonpoint Sources)

BASINS(USEPA, version3.0, 2001)는 윈도우즈 운영체계를 사용함으로써 최근의 소프트웨어나 데이터 관리기술의 발달과 컴퓨터 기능의 향상을 바탕으로 사용자에게 완벽한 유역관리 도구를 제공한다. BASINS는 GIS(Geological Information System)를 이용하여 토지이용이나 점오염부하 등의 공간정보를 분석하며, BASINS의 내부에는 간단한 부하량산정 모형인 PLOAD와 하천수질모형인 Qual2E 및 유역유출모델인 SWAT과 HSPF를 포함한다. BASINS는 GIS 상용프로그램인 Arcview를 기반으로 수치지도 생성과 공간분석, 자료의 질의와 추출 등의 방법을 유역분석에 종합적으로 사용한다⁶⁾.

2. HSPF(Hydrological Simulation Program-FORTRAN)

1966년 통상적인 수문계산을 위한 Stanford Watershed Model을 기원으로 하며, EPA에서 계속적인 비점오염원 모형에 대한 연구를 추가해왔다. 이 모형은 하도에서의 1차원 수질모의과정을 포함하고 있으며 이밖에 지표면과 토양에서의 오염원 유출과정과 퇴적물내 화학적 상호반응 및 점오염원까지 포함하는 통합모형이다^{3,4)}. HSPF모형은 광범위한 유역조건에 적용이 가능하고, 본 모델을 효과적으로 사용할 수 있도록 HSPFEXP, ANNIE, WDMutil, METCMP, IOWDM등과 같은 보조프로그램이 개발되어 있다. 또한, 미국 내 충분한 기초자료를 바탕으로, 미국 USEPA와 USGS 등과 같은 여러 기관들의 지원을 받아 여러지역에 적용되고 있으며, 지금도 계속해서 유지 발전되고 있는 신뢰성이 검증된 모형이다.

3. BASINS와 HSPF모형의 적용

3.1 대상유역

대상지역은 경기도 화성군에 위치한 화옹담수호의 상류에 있는 2개의 소유역으로, 유역의 수문 및 수질 계측망과 유역현황은 Fig. 1과 같다. 이 소유역에서 발생하는 유량 및 부하량은 각각 site㉓와 site㉔를 거쳐 화옹담수호로 유입된다. 소유역의 면적은 A, B 각각 993.8ha와 1408.3ha이다. 각각의 소유역에 대한 토지이용은 산림, 논, 밭이 전체의 80%이상을 차지하고 있으며, 많은 수의 축산 농가가 유역에 분포되어 있다. 유출량 및 부하량을 보정 및 검정하기 위하여, site㉓와 site㉔에서 유량 및 수질을 2주 단위로 측정하였으며, 강우에 의한 유출량 및 부하량을 측정하기 위해 일주기 조사를 2회 실시하였다.

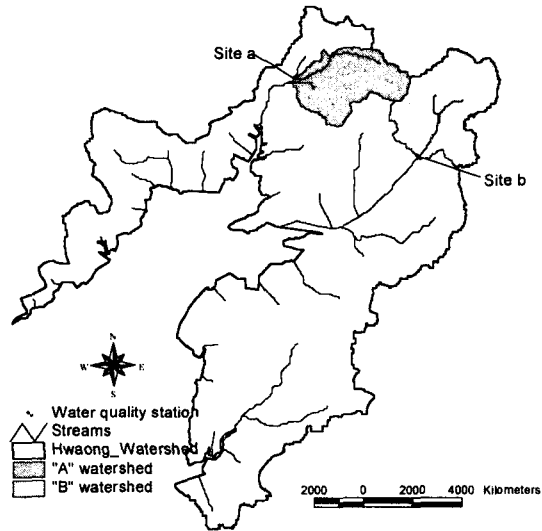


Fig.1. Study area

3.2 모형의 입력자료 구성

유출해석에 필요한 하천망 및 유역경계는 BASINS의 내부 모듈인 watershed delineation을 이용하여 구하였다. 이 모듈은 임의 유역출구를 설정하면 그 출구의 상류유역에서의 하천망 및 유역 경계를 DEM에서 자동으로 추출할 수 있다. 또한, HSPF모형에 필요한 토지이용 레이어는 Landsat TM과 SPOT 위성영상자료를 ER Mapper v5.5를 사용하여, 감독분류를 실시하였다. 토지이용형태는 12가지로 나누어 분류하였으며, 이를 BASINS의 내부모듈인 land use reclassification을 이용하여 주거지, 경작지, 산림, 물, 습지(갯벌)로 재분류하였다.

1998년 1월 1일부터 1999년 12월 31일까지의 기상자료는 기상청 수원관측소의 기상자료를 이용하여 입력하였다. 모의에 필요한 기상자료는 시간별로 강수량, 증발량, 이슬점온도, 운량 등이며, 일별로는 최고온도, 최저온도, 풍속, 운량, 이슬점온도, 일조량 등이고, 기상입력자료 작성도구인 WDMUutil을 이용하여 HSPF의 모의에 필요한 WDM파일을 생성하였다.

3.3 모형의 보정

HSPF는 1,000개 이상의 변수를 사용자가 정의하여야 하는 복잡한 모형이다. 따라서, 여러 대안들에 의한 수질예측결과의 신뢰도를 높이기 위해서는 모형의 보정 과정에서 유역의 특성을 정확히 반영하는 매개변수들을 산정하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 유출량 보정에서 1999년 4월부터 12월까지 각 유역의 출구에서 실측된 유량 및 수질자료를 이용하여 시행착오 방법에 의해 보정을 실시하였다.

유량은 토사유출에 상당한 영향을 주며, 토사에 흡착되어 하천으로 유입되는 오염물질의 부하량과 밀접한 관계가 있다. 따라서 수질관련 항목의 보정을 위해서는 정확한 유량의 보정이 선행되어야 한다. 유량의 보정에는 INFILT(투수능지표), LZSN(토양의 수분저장능력), AGWRC(지하수 지체정도), INTFW(중간유출수 유입정도)등이 중요한 매개변수로 작용하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 보정 및 검정결과

보정은 Site⑥지역에서 실시하였고, 검정은 Site④지역에서 실시하였으며, 그 결과는 Fig. 2 및 Table 1과 같다.

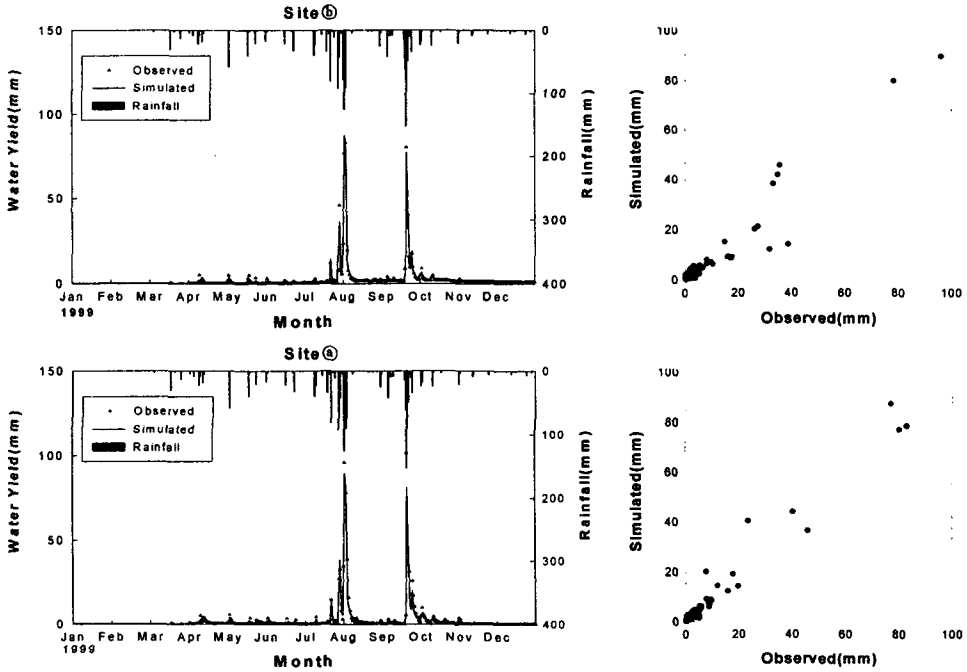


Fig. 2. Observed and simulated water yield and scatter diagram

Table 1. Application results of water yield and runoff ratio

Area (ha)	Rainfall (mm)	Water Yield (mm)		Runoff Ratio (%)		RMSE (mm)	R*	
		Obs. Data	Sim. Data	Obs. Data	Sim. Data			
Site④	993.75	1,468.70	857.30	835.85	58.37	56.91	1.73	0.97
Site⑥	1,408.33	1,468.70	800.81	821.50	54.52	55.93	1.75	0.98

*: Correlation coefficient between observed and simulated daily water yield

보정을 실시한 결과 Site⑥ 지역에서 1,468.70mm의 강우에 대해 실측 유출량은 800.81mm이었고 모의 유출량은 821.50mm로 20.69mm의 차이를 보였다. 일유출량에 대한 실측치와 모의치의 상관계수(R)는 0.98의 상관정도를 보였으며, RMSE(Root Mean Square Error)는 1.75mm로 매우 작아, 실측치와 유사하게 예측되었다. Site④에서 검정을 실시한 결과 실측 유출량은 857.30mm이었고 모의 유출량은 835.85mm로 21.45mm의 차이를 보였다. 일유출량에 대한 실측치와 모의치의 상관계수(R)는 0.97이었고, RMSE는 1.73mm로 나타났다. 보정 및 검정을 실시한 Site④와 Site⑥에서의 유출율(Runoff Ratio)은 측정치가 각각 58.37%, 54.32%이고, 모의치가 56.91%와 55.93%로 나타났다. Site⑥보다 Site④에서 유출율이 조금 높게 나온 것은 주저지

와 같은 불투수지역이 Site②에 더 많이 존재하였기 때문이다.

이와 같이 BASINS를 이용하여 점오염원 및 비점오염원에 대한 오염원자료 및 수질자료 등과 같은 유역의 여러 정보를 쉽게 관리 할 수 있었으며, BASINS의 내부에 포함된 유역모형인 HSPF를 이용할 경우 상당히 많은 HSPF의 입력자료를 BASINS에서 생성한 GIS layer에서 손쉽게 추출하여 HSPF의 입력자료 생성이 매우 용이했다. 또한, HSPF의 유출량을 보정한 결과 실측치와 매우 유사하게 모의 할 수 있었다. 이와 같이 BASINS를 이용할 경우 유역의 여러 정보를 관리, 수정 및 보완이 용이하고 이와 연계된 HSPF를 이용할 경우 그 동안 정확도는 인정되었지만, 입력자료 생성이 매우 힘들어 사용이 적었던 HSPF모형을 손쉽게 이용할 수 있다. 또한, BASINS는 오염물질이 오염원에서부터 하천 및 호소에 도달하는 동안의 과정을 종합적으로 관리 예측할 수 있어서, 유역을 종합적으로 관리 보전하는데 매우 유용하다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 BASINS에 포함되어 있는 내부 모형 중 HSPF모형을 이용하여 화옹담수호의 상류에 있는 소유역의 유출량 및 부하량을 산정하는 것으로, 이 중 본 논문에서는 유출량까지의 결과를 정리하여 서술하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. BASINS를 이용하여 점원과 비점원 오염원에 대한 여러정보가 포함되어 있는 GIS layer를 생성하였으며, 그 결과 방대한 자료를 손쉽게 관리할 수 있었다.
2. BASINS에서 구축한 기본적인 GIS layer로부터 HSPF의 구동에 필요한 상당히 많은 입력자료를 손쉽게 추출할 수 있었다.
3. 생성된 HSPF모형의 입력자료에서 매개변수를 보정하여 Site①에서 유출량을 산정했으며, Site②에서 이를 검정하였다. 그 결과 RMSE 및 상관계수(R)가 Site①에서 각각 1.73mm, 0.97이었으며, Site②에서는 각각 1.75mm, 0.98로 실측치와 매우 유사하게 유출량이 모의되었다.
4. 지금까지는 오염물 부하량의 산정에 있어서 첫 번째 단계인 유출량을 모의하였으며, 앞으로의 연구에서는 유역에서의 오염물질 부하량도 모의할 예정이다.

V. 참고문헌

1. 권명준, 2000, 농촌유역 하천의 수질예측을 위한 SWAT모형과 WASP모형의 연계운영, 서울대학교 대학원.
2. 김필식, 2001, 객체지향기법을 이용한 유역 물관리 프로그램 개발, 건국대학교 대학원.
3. 전지홍, 2000, SWMM과 회귀법을 이용한 유역에서의 비점오염원 부하량 산정 비교 연구, 건국대학교 대학원.
4. Bicknell, B., J. Imhoff, J. Kittle, A. Donigan, R Johanson, T. Barnwell, 1996, Hydrological simulation program-FORTRAN user's manual for release 11, USEPA.
5. NIER, 2001, Proceedings of international seminar on integrated watershed management toward 21st century, NIER, pp. 15-34, 203-225.
6. USEPA, 1998, Better assessment science integrating point and nonpoint sources (BASINS2.0) user's manual, EPA.